

PEMETAAN AREA GENANGAN BANJIR MENGGUNAKAN MODEL HEC-RAS 2D DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PADA DAS

Akram Arsyahudin¹, Widha Ardhiyansyah², Hazairin Nikmatul Lukma³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Islam Balitar

e-mail : ¹oppoakram0@gmail.com, ²Widhaardhiyansyahstmt@gmail.com,

³haza.airin@gmail.com

Diterima: 14/2/2026; Direvisi: 20/2/2026; Diterbitkan: 25/2/2026

ABSTRAK

Kecamatan Sutojayan di Kabupaten Blitar, yang dilalui oleh Daerah Aliran Sungai (DAS) Bogel, merupakan kawasan yang sangat rentan terhadap bencana banjir akibat kombinasi topografi datar, intensitas curah hujan ekstrem, dan masifnya perubahan tata guna lahan. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan secara detail area rawan genangan banjir pada DAS Bogel sebagai upaya mitigasi struktural. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif yang mengintegrasikan analisis hidrologi pada tiga SubDAS (Bacem, Lodoyo, dan Judeg) dengan pemodelan hidraulika spasial menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 2D dan Sistem Informasi Geografis (SIG) pada berbagai skenario kala ulang (Q2, Q5, Q10, Q25, Q50, dan Q100). Hasil analisis hidrologi menunjukkan lonjakan debit banjir yang signifikan seiring bertambahnya kala ulang, misalnya pada SubDAS Bacem dari 69,28 m³/detik (Q2) menjadi 174,61 m³/detik (Q100). Pemodelan spasial mengonfirmasi bahwa luas genangan banjir berekspansi dari 4,98 km² pada Q2 hingga mencapai 10,98 km² pada Q100. Wilayah terdampak pada skenario awal meliputi delapan desa (Bacem, Jingglong, Kalipang, Kedungbunder, Pandanarum, Sutojayan, Sukorejo, dan Sumberjo), dan meluas hingga Jegu serta Kembangarum pada kala ulang ekstrem. Simpulan utama menegaskan bahwa integrasi HEC-RAS dan SIG terbukti efektif memprediksi sebaran banjir secara akurat, sehingga sangat krusial digunakan sebagai basis data tata ruang dan mitigasi bencana di Kecamatan Sutojayan.

Kata kunci: *Banjir, DAS Bogel, HEC-RAS, SIG, Sutojayan*

ABSTRACT

Sutojayan District in Blitar Regency, which is traversed by the Bogel River Basin (DAS), is an area that is highly vulnerable to flooding due to a combination of flat topography, extreme rainfall intensity, and massive land use changes. This study aims to map in detail the flood-prone areas in the Bogel Watershed as a structural mitigation effort. The research method uses a quantitative approach that integrates hydrological analysis in three Sub-DAS (Bacem, Lodoyo, and Judeg) with spatial hydraulic modeling using HEC-RAS 2D software and Geographic Information Systems (GIS) in various return period scenarios (Q2, Q5, Q10, Q25, Q50, and Q100). The results of the hydrological analysis show a significant increase in flood discharge as the return period increases, for example in the Bacem Sub-DAS from 69.28 m³/second (Q2) to 174.61 m³/second (Q100). Spatial modeling confirmed that the flood inundation area expanded from 4.98 km² in Q2 to 10.98 km² in Q100. The affected areas in the initial scenario included eight villages (Bacem, Jingglong, Kalipang, Kedungbunder, Pandanarum, Sutojayan, Sukorejo, and Sumberjo), and extended to Jegu and Kembangarum during the extreme return period. The main conclusion confirms that the integration of HEC-RAS and GIS has proven effective in predicting flood distribution accurately, making it crucial for use as a database for spatial planning and disaster mitigation in Sutojayan District.

Keywords: *Flood, Bogel Watershed, HEC-RAS, GIS, Sutojayan*

PENDAHULUAN

Kecamatan Sutojayan yang terletak di wilayah administrasi Kabupaten Blitar merupakan daerah strategis dengan potensi sumber daya air yang sangat melimpah namun menyimpan risiko kebencanaan hidrometeorologi yang sangat tinggi. Keberadaan Sungai Bogel menjadi pilar utama dalam menyokong berbagai kebutuhan krusial masyarakat setempat, mulai dari sistem irigasi pertanian, jaringan drainase perkotaan, hingga penyediaan air bersih bagi ribuan penduduk sekitar. Secara teoretis, infrastruktur sungai ini dirancang untuk mampu menampung debit air dalam volume tertentu guna mendukung stabilitas ekosistem dan ekonomi lokal secara berkelanjutan. Namun, realitas geofisika menunjukkan bahwa sungai ini kerap mengalami luapan hebat terutama saat memasuki periode dengan intensitas curah hujan yang melampaui ambang batas normal tahunan. Kerentanan ini menjadikan Sutojayan sebagai zona merah dalam peta risiko bencana daerah yang memerlukan perhatian khusus dari berbagai pihak terkait guna menjaga keselamatan publik. Kebutuhan akan sistem pengelolaan air yang terintegrasi menjadi hal yang mutlak demi memastikan bahwa fungsi sungai sebagai penyokong kehidupan tidak berubah menjadi ancaman yang merugikan harta benda maupun nyawa manusia di masa depan yang sulit untuk diprediksi secara manual saja sepenuhnya (Agustian et al., 2024; Sa'adah et al., 2025; Sholihah & Irawanto, 2025).

Bukti nyata dari tingginya ancaman bencana di wilayah ini terdokumentasi dengan jelas melalui peristiwa banjir besar yang melanda pada tahun 2022 yang lalu. Berdasarkan rekaman data lapangan, musibah tersebut memberikan dampak destruktif yang sangat luas dengan merendam 5 desa sekaligus dalam waktu yang relatif sangat singkat akibat jebolnya pertahanan sungai. Skala dampak sosial yang dihasilkan tercatat sangat masif, di mana bencana ini secara langsung memengaruhi kehidupan lebih dari 600 keluarga yang kehilangan akses terhadap kebutuhan dasar mereka sehari-hari. Selain kerugian materiil pada bangunan dan harta benda, sebanyak 179 orang terpaksa harus dievakuasi dan mengungsi ke tempat yang lebih aman karena ketinggian air yang sudah mencapai level membahayakan jiwa. Kejadian tragis ini menegaskan adanya urgensi yang sangat mendesak untuk merumuskan strategi pengendalian banjir yang jauh lebih efektif dan responsif dibandingkan metode konvensional yang ada saat ini. Dampak signifikan yang ditimbulkan tidak hanya menyentuh aspek infrastruktur fisik semata, tetapi juga melumpuhkan stabilitas ekonomi masyarakat serta merusak lahan pertanian yang menjadi sumber pendapatan utama bagi sebagian besar penduduk lokal yang bermukim di sana.

Terdapat kesenjangan yang sangat mencolok antara kondisi hidrolika yang diidealkan dengan kenyataan fisik yang terjadi di sepanjang aliran Sungai Bogel saat ini. Secara ideal, sebuah sistem daerah aliran sungai harus memiliki kapasitas tampung yang memadai serta kecepatan aliran yang lancar untuk mengalirkan debit air hujan ekstrem langsung menuju muara tanpa hambatan. Namun, senyatanya kondisi *topography* yang relatif datar di wilayah Sutojayan menyebabkan air cenderung bergerak lambat dan mudah terakumulasi di permukaan tanah dalam jangka waktu yang lama. Masalah ini diperparah oleh adanya perubahan drastis pada *land use* atau penggunaan lahan yang semula merupakan daerah resapan alami kini telah beralih fungsi menjadi kawasan pemukiman dan lahan terbuka non-vegetasi. Perubahan karakteristik lahan ini secara otomatis meningkatkan volume *run-off* atau limpasan permukaan yang masuk ke badan sungai dalam waktu bersamaan sehingga kapasitas tampung sungai terlampaui dengan cepat (Akbar et al., 2025; Andiesse et al., 2025; Priatna et al., 2025). Ketidakseimbangan antara debit air yang masuk dengan kemampuan drainase alami sungai

menciptakan risiko genangan permanen yang sulit diatasi tanpa adanya intervensi teknis yang mendalam serta terukur berdasarkan data spasial yang akurat serta relevan dengan kondisi lapangan yang sesungguhnya terjadi (Kindhi et al., 2023; Palawa'ae et al., 2024).

Upaya mitigasi bencana banjir yang lebih modern dan akurat memerlukan pemahaman spasial yang sangat mendalam melalui integrasi teknologi *Geographic Information System* atau SIG. Penggunaan perangkat lunak pemodelan hidraulik seperti HEC-RAS menjadi instrumen inovatif yang mampu mensimulasikan pergerakan air di sepanjang alur sungai dengan tingkat presisi yang sangat tinggi bagi peneliti (Fajar et al., 2024; Harifa & Cahyani, 2024; Mustamin et al., 2024; Ridwan et al., 2025). Teknologi ini telah terbukti secara ilmiah memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mengidentifikasi zona risiko serta memprediksi pola sebaran genangan air secara visual dan kuantitatif di lapangan. Melalui pendekatan berbasis komputerisasi ini, setiap parameter fisik sungai dapat diolah untuk menghasilkan skenario banjir yang mungkin terjadi pada berbagai tingkat periode ulang hujan yang berbeda-beda. Pemetaan kerawanan berbasis digital ini memungkinkan tim teknis untuk melihat area mana saja yang akan terdampak paling parah sebelum bencana yang sesungguhnya benar-benar terjadi melanda pemukiman warga. Integrasi antara data geografis dan model matematika fluida ini menjadi jembatan penting dalam menutup celah ketidakpastian informasi yang selama ini menjadi kendala utama dalam perencanaan sistem perlindungan bencana di tingkat lokal maupun regional di Kabupaten Blitar bagian selatan ini secara menyeluruh.

Nilai baru dan inovasi yang ditawarkan dalam penelitian ini terletak pada pengembangan model prediksi sebaran banjir yang spesifik dan mendetail untuk wilayah Daerah Aliran Sungai Bogel. Penelitian ini menghadirkan sebuah sistem deteksi dini berbasis spasial yang belum pernah diimplementasikan secara komprehensif untuk menjawab tantangan unik yang ada di Kecamatan Sutojayan tersebut. Kebaruan studi ini juga mencakup analisis integratif yang menghubungkan variabel perubahan lahan terbaru dengan parameter hidraulik terkini guna menghasilkan peta risiko yang jauh lebih dinamis dan aplikatif bagi pemerintah. Hasil dari pemodelan ini tidak hanya berhenti pada data teknis semata, melainkan dikembangkan menjadi landasan strategis dalam penyusunan kebijakan pengendalian banjir yang bersifat preventif bagi masyarakat luas. Selain itu, inovasi ini memberikan panduan yang sangat konkret dalam perencanaan jalur evakuasi yang paling aman serta efektif berdasarkan simulasi genangan air yang paling realistis di lapangan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam meminimalisir risiko jatuhnya korban jiwa serta kerugian ekonomi yang lebih besar melalui strategi mitigasi jangka panjang yang berbasis pada bukti data ilmiah yang sangat kuat serta teruji secara metodologis dan empiris.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang mengintegrasikan analisis data hidrologi dengan pemodelan spasial melalui penggunaan *software* ArcMap sepuluh poin delapan dan HEC-RAS enam poin enam. Prosedur diawali dengan pengumpulan data curah hujan selama sepuluh tahun terakhir dari tiga stasiun pengamatan utama di wilayah Kabupaten Blitar. Untuk menentukan luas area pengaruh tiap stasiun, dilakukan perhitungan hujan kawasan menggunakan metode *polygon thiessen* yang diproses dalam lingkungan sistem informasi geografis. Tahapan analisis dilanjutkan dengan menguji konsistensi data dan melakukan analisis frekuensi distribusi menggunakan metode Log Pearson Tipe Tiga, yang telah divalidasi melalui uji *smirnov-kolmogorov* dan *chi-kuadrat*. Penentuan distribusi intensitas hujan jam-jaman dilakukan dengan metode Mononobe untuk menghasilkan data masukan yang akurat. Hasil akhir dari fase hidrologi ini adalah nilai debit banjir rencana untuk

berbagai *return period* mulai dari dua hingga seratus tahun yang dihitung menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu sebagai landasan utama dalam simulasi hidraulika selanjutnya.

Simulasi penyebaran banjir dilaksanakan melalui pemodelan hidraulika dua dimensi menggunakan data *digital elevation model* yang diintegrasikan ke dalam sistem geometri saluran. Prosedur teknis dalam fase ini melibatkan pembentukan *2D flow area* dengan struktur *mesh* yang rapat untuk menangkap detail topografi pada Daerah Aliran Sungai Bogel. Peneliti menetapkan *boundary condition* pada sisi hulu dan hilir guna mencerminkan aliran air yang dinamis sesuai dengan debit rencana yang telah dihitung sebelumnya. Proses kalkulasi dilakukan melalui analisis *unsteady flow* untuk melihat perkembangan genangan air secara temporal terhadap area pemukiman di Kecamatan Sutojayan. Hasil simulasi berupa peta digital divisualisasikan menggunakan fitur *raster* untuk mengidentifikasi kedalaman serta luas *inundation area* pada tiap skenario kala ulang. Melalui integrasi teknologi ini, pemetaan area rawan banjir dapat dilakukan secara presisi guna menentukan zona prioritas dalam upaya mitigasi bencana struktural maupun non-struktural di wilayah terdampak.

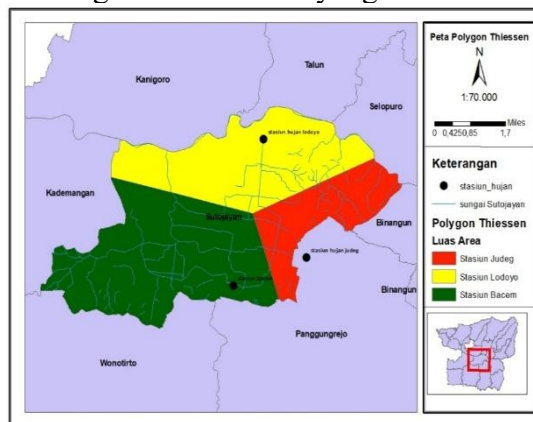
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Analisis Hidrologi

1. Analisis Curah Hujan Rata-Rata

Untuk menghitung curah hujan rata-rata pada penelitian ini menggunakan metode polygon thiesse. Metode ini memperhitungkan luas daerah yang diwakili oleh stasiun hujan



Gambar 1. Peta Polygon Thiessen

Dari hasil analisis metode polygon thiesse didapatkan area perwakilan masing-masing stasiun yaitu stasiun lodojo 20,40164 KM², stasiun bacem 10,188372 KM², stasiun judgeg 26,92562 KM².

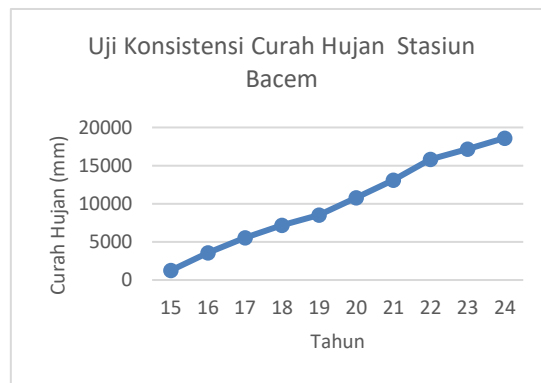
2. Uji Konsistensi

Sebelum data curah hujan digunakan dalam penelitian harus dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk memastikan data yang didapat dari stasiun hujan yang sudah ditetapkan bisa mewakili tahun-tahun berikutnya.

Tabel 1. Uji Konsistensi Data Curah Hujan Stasiun Bacem

Tahun	St. Bacem Tahunan (mm)	St. Bacem Kumulatif (mm)	St. Lodayo & Judeg Rerata (mm)	St. Lodayo & Judeg Kumulatif (mm)
2015	1049	1049	1244	1244
2016	2485	3534	2329.5	3573.5
2017	1502	5036	1987.5	5561
2018	1264	6300	1604	7165
2019	1352	7652	1368	8533
2020	2003	9655	2256.5	10789.5
2021	2197	11852	2291	13080.5
2022	3078	14930	2740	15820.5
2023	1418	16348	1333.5	17154
2024	1593	17941	1460.25	18614.25

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025



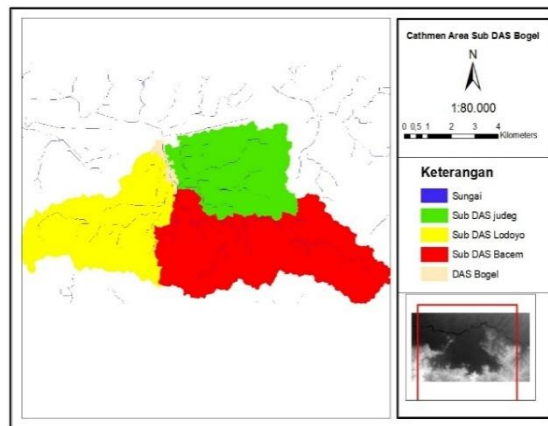
Gambar 2. Grafik Uji Konsistensi Data Curah Hujan Stasiun Bacem

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2 dapat diketahui bahwa hujan dapat dikatakan konsisten.

3. Analisis Distribusi Curah Hujan dan Uji Kesesuaian Distribusi

Analisis data hidrologi periode 2015 sampai 2024 pada menunjukkan rata-rata curah hujan 109.18 mm dengan deviasi kuadrat 16165.79. Selanjutnya curah hujan rencana memproyeksikan nilai 240.14 mm untuk periode ulang 1000 tahun lewat distribusi normal. Dalam perhitungan parameter gumbel melengkapi data statistik analisis selanjutnya. Berdasarkan hasil distribusi curah hujan rencana, metode Gumbel memberikan estimasi tertinggi 372.17 mm sementara Log Pearson III sebesar 361.00 mm. Hasil evaluasi menyimpulkan hanya Log Pearson Tipe III memenuhi syarat parameter statistik dengan nilai Cs 0.13 dan Ck 3.54. Sebaliknya, Tabel 6 uji distribusi mengungkap Log Pearson Tipe III meski lolos uji Smirnov pada angka 0.190, gagal pada uji Chi-Kuadrat karena nilai hitung 8.000 melampaui batas kritis 5.99. Kesimpulan akhir menekankan pemilihan distribusi paling mendekati kecocokan statistik guna menjamin akurasi perencanaan infrastruktur bangunan air wilayah tersebut agar dapat meminimalisir risiko kegagalan struktur akibat debit banjir yang tidak terduga pada masa mendatang.

4. Analisis Distribusi Curah Hujan Jam-Jaman dan Perhitungan Debit Banjir Rencana



Gambar 3. Peta SubDAS Bogel

DAS Bogel memiliki 3 subDAS yaitu subDAS Judeg, subDAS Lodooyo, dan subDAS Bacem dari ketiga subDAS tersebut memiliki tutupan lahan dan koefisien aliran yang berbeda-beda.

SubDAS Bacem

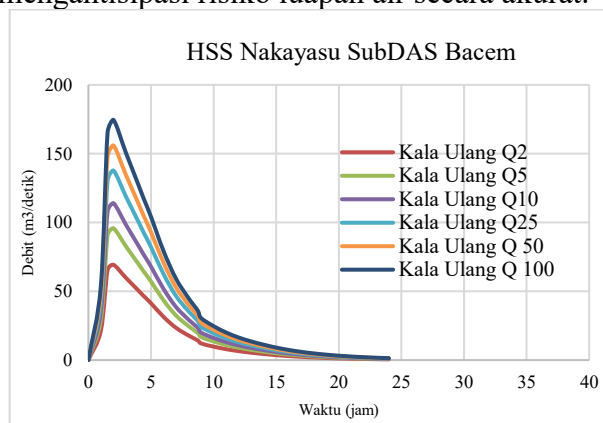
Tabel 2. Perhitungan Debit Banjir Rencana SubDAS Bacem

t (jam)	Periode Kala Ulang					
	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	21.61	29.89	35.57	42.98	48.66	54.47
1.53	65.59	90.71	107.96	130.45	147.66	165.31
2.00	69.28	95.81	114.04	137.80	155.98	174.61
3.00	59.75	82.63	98.35	118.84	134.51	150.59
4.00	50.49	69.82	83.11	100.42	113.66	127.24
4.41	46.62	64.46	76.73	92.71	104.94	117.48
5.00	41.32	57.14	68.01	82.18	93.02	104.14
6.00	31.43	43.47	51.74	62.51	70.76	79.22
7.00	23.43	32.40	38.57	46.60	52.75	59.05
8.00	17.85	24.69	29.38	35.50	40.19	44.99
8.73	14.30	19.78	23.54	28.45	32.20	36.05
9.00	12.13	16.77	19.96	24.12	27.30	30.56
10.00	9.79	13.54	16.12	19.48	22.05	24.68
11.00	7.96	11.00	13.10	15.82	17.91	20.05
12.00	6.51	9.01	10.72	12.95	14.66	16.41
13.00	5.38	7.43	8.85	10.69	12.10	13.55
14.00	4.44	6.14	7.31	8.83	9.99	11.19
15.00	3.60	4.98	5.93	7.16	8.11	9.08
16.00	2.92	4.04	4.81	5.81	6.58	7.36
17.00	2.37	3.28	3.90	4.71	5.34	5.97
18.00	1.92	2.66	3.16	3.82	4.33	4.85
19.00	1.56	2.16	2.57	3.10	3.51	3.93
20.00	1.27	1.75	2.08	2.52	2.85	3.19
21.00	1.03	1.42	1.69	2.04	2.31	2.59
22.00	0.83	1.15	1.37	1.66	1.87	2.10
23.00	0.68	0.93	1.11	1.34	1.52	1.70
24.00	0.55	0.76	0.90	1.09	1.23	1.38

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

Tabel 2 menyajikan hasil perhitungan debit banjir rencana untuk SubDAS Bacem pada periode kala ulang 2 tahun hingga 100 tahun dalam rentang 24 jam. Debit puncak terjadi pada jam ke 2.00 dengan nilai sebesar 69.28 m³/s untuk Q2 dan meningkat menjadi 174.61 m³/s pada Q100. Distribusi debit menunjukkan kenaikan tajam sejak jam 1.00 dan menurun bertahap

setelah mencapai puncak hingga menyisakan 1.38 m³/s pada jam ke 24.00 untuk Q100. Angka 24 jam ini sangat krusial dalam merencanakan dimensi 1 saluran drainase serta bangunan air di SubDAS Bacem guna mengantisipasi risiko luapan air secara akurat.



Gambar 4. Grafik HSS Nakayasu Subdas Bacem

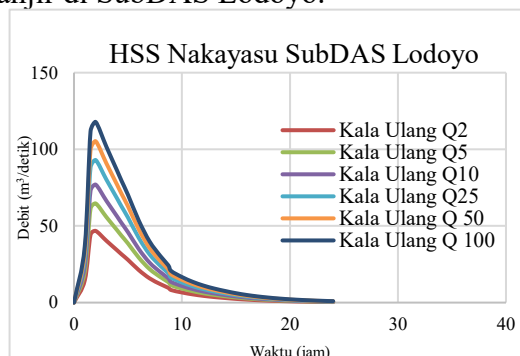
SubDAS Lodoyo

Tabel 3. Perhitungan Debit Banjir Rencana SubDAS Lodoyo

t (jam)	Periode Kala Ulang					
	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	14.59	20.18	24.02	29.03	32.85	36.78
1.53	44.29	61.25	72.90	88.09	99.71	111.62
2.00	46.78	64.70	77.01	93.05	105.32	117.91
3.00	40.35	55.79	66.41	80.24	90.83	101.68
4.00	34.09	47.15	56.12	67.81	76.75	85.92
4.41	31.48	43.53	51.81	62.60	70.86	79.33
5.00	27.90	38.58	45.93	55.49	62.81	70.32
6.00	21.22	29.35	34.93	42.21	47.78	53.49
7.00	15.82	21.88	26.04	31.47	35.62	39.88
8.00	12.05	16.67	19.84	23.97	27.14	30.38
8.73	9.66	13.36	15.90	19.21	21.74	24.34
9.00	8.19	11.32	13.48	16.29	18.43	20.64
10.00	6.61	9.15	10.89	13.15	14.89	16.67
11.00	5.37	7.43	8.84	10.68	12.09	13.54
12.00	4.40	6.08	7.24	8.75	9.90	11.08
13.00	3.63	5.02	5.97	7.22	8.17	9.15
14.00	3.00	4.15	4.93	5.96	6.75	7.55
15.00	2.43	3.36	4.00	4.84	5.47	6.13
16.00	1.97	2.73	3.25	3.92	4.44	4.97
17.00	1.60	2.21	2.63	3.18	3.60	4.03
18.00	1.30	1.80	2.14	2.58	2.92	3.27
19.00	1.05	1.46	1.73	2.09	2.37	2.65
20.00	0.85	1.18	1.41	1.70	1.92	2.15
21.00	0.69	0.96	1.14	1.38	1.56	1.75
22.00	0.56	0.78	0.93	1.12	1.27	1.42
23.00	0.46	0.63	0.75	0.91	1.03	1.15
24.00	0.37	0.51	0.61	0.74	0.83	0.93

Tabel 3 memaparkan rincian perhitungan debit banjir rencana untuk wilayah SubDAS Lodoyo dengan periode kala ulang yang bervariasi dari 2 tahun hingga 100 tahun. Hasil analisis menunjukkan bahwa debit air mengalami lonjakan tertinggi pada jam ke 2.00 di mana nilai Q2 mencapai 46.78 m³/s dan Q100 menyentuh angka 117.91 m³/s. Pola aliran ini menggambarkan karakteristik hidrologi daerah tersebut yang merespons curah hujan dengan cepat pada jam 1.00 hingga 2.00 pengamatan. Aliran air berkurang hingga mencapai 0.93 m³/s pada jam ke 24.00

untuk Q100. Data ini menjadi acuan teknis penting dalam menentukan kapasitas tampung 1 infrastruktur pengendali banjir di SubDAS Lodooyo.

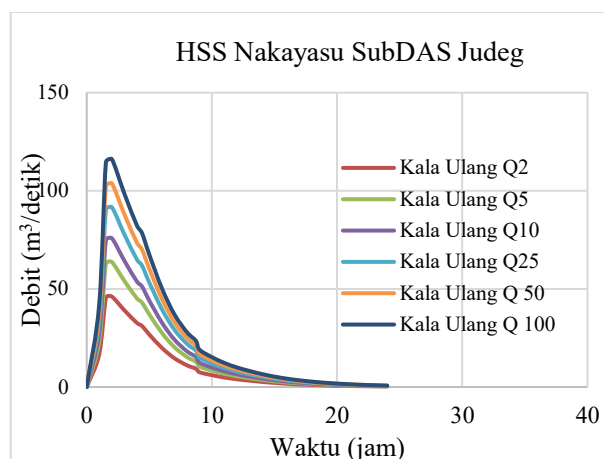


Gambar 5, Grafik HSS Nakayasu Subdas Lodooyo SubDAS Judeg

Tabel 4. Perhitungan Debit Banjir Rencana SubDAS Judeg

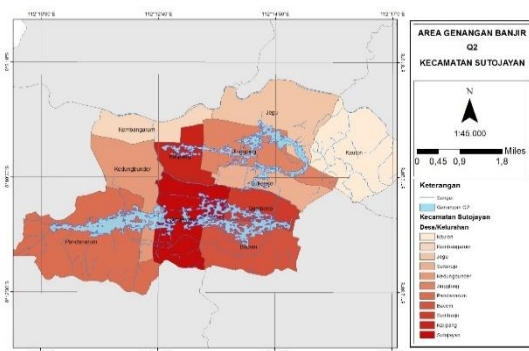
t (jam)	Periode Kala Ulang					
	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	16.82	23.26	27.69	33.46	37.87	42.40
1.53	45.41	62.79	74.74	90.31	102.23	114.44
2.00	46.11	63.77	75.90	91.71	103.81	116.21
3.00	39.15	54.14	64.45	77.87	88.14	98.67
4.00	32.71	45.23	53.84	65.06	73.64	82.44
4.41	31.16	43.09	51.29	61.97	70.15	78.53
5.00	26.74	36.98	44.02	53.19	60.21	67.40
6.00	19.97	27.61	32.87	39.71	44.95	50.32
7.00	14.70	20.32	24.19	29.23	33.09	37.04
8.00	11.09	15.33	18.25	22.05	24.96	27.94
8.73	9.30	12.86	15.31	18.50	20.94	23.44
9.00	7.56	10.45	12.44	15.03	17.02	19.05
10.00	6.04	8.36	9.95	12.02	13.60	15.23
11.00	4.87	6.73	8.01	9.68	10.96	12.27
12.00	3.96	5.47	6.51	7.87	8.91	9.97
13.00	3.25	4.49	5.34	6.46	7.31	8.18
14.00	2.62	3.63	4.32	5.21	5.90	6.61
15.00	2.10	2.91	3.46	4.18	4.73	5.30
16.00	1.69	2.33	2.77	3.35	3.79	4.25
17.00	1.35	1.87	2.22	2.69	3.04	3.41
18.00	1.08	1.50	1.78	2.15	2.44	2.73
19.00	0.87	1.20	1.43	1.73	1.96	2.19
20.00	0.70	0.96	1.15	1.38	1.57	1.75
21.00	0.56	0.77	0.92	1.11	1.26	1.41
22.00	0.45	0.62	0.74	0.89	1.01	1.13
23.00	0.36	0.50	0.59	0.71	0.81	0.90
24.00	0.29	0.40	0.47	0.57	0.65	0.73

Tabel 4 menjelaskan hasil perhitungan debit banjir rencana pada SubDAS Judeg yang dihitung untuk durasi 24 jam pengamatan. Pada tabel ini terlihat bahwa debit banjir mencapai nilai maksimum pada waktu 2.00 jam dengan besaran debit sebesar 46.11 m³/s untuk Q2 dan terus naik mencapai 116.21 m³/s untuk Q100. Perubahan nilai debit jam ke jam menunjukkan tren penurunan yang konsisten setelah melewati masa puncak aliran pada jam ke 2.00 tersebut. Pada akhir pengamatan jam ke 24.00, nilai debit untuk Q100 tercatat sebesar 0.73 m³/s. Informasi numerik ini diperlukan bagi perancang infrastruktur untuk memastikan keamanan 1 bangunan air di SubDAS Judeg.

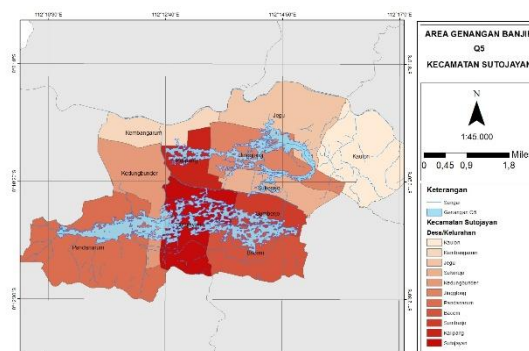


Gambar 6. Grafik HSS Nakayasu SubDAS Judeg

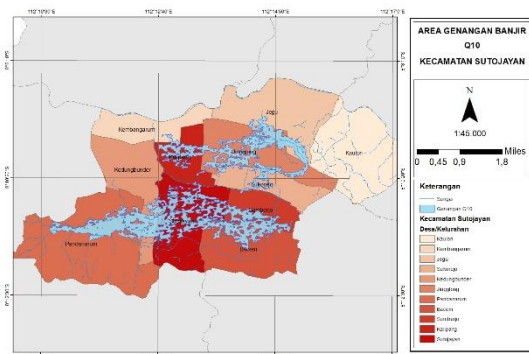
Pemetaan Area Genangan



Gambar 7. Area Genangan Banjir Q2



Gambar 8. Area Genangan Banjir Q5



Gambar 9. Area Genangan Banjir Q50 **Gambar 10. Area Genangan Banjir Q100**

Berdasarkan analisis area genangan banjir menggunakan bantuan *software Hec-Ras*. Didapatkan hasil luas area genangan dengan periode kala ulang Q2 dengan luas genangan 4,98 km², Q5 dengan luas genangan 6,68 km², Q50 dengan luas area genangan 10,10 km², dan Q100 dengan luas area genangan 10,98 km². Untuk daerah/desa yang terdampak setelah dilakukan simulasi diketahui dengan periode kala ulang Q2 desa yang terdampak meliputi Desa Bacem, Jingglong, Kalipang, Kedungbunder, Pandanarum, Sutojayan, Sukorejo, dan Sumberjo. Untuk periode kala ulang Q5-Q1000 desa yang terdampak meliputi Desa Bacem, Jegu, Jingglong, Kalipang, Kedungbunder, Kembangarum, Pandanarum, Sutojayan, Sukorejo, dan Sumberjo.

Pembahasan

Analisis distribusi spasial menggunakan metode *polygon thiessen* mengungkapkan bahwa daerah aliran sungai Bogel dipengaruhi oleh tiga stasiun hujan utama dengan luasan cakupan yang bervariasi secara signifikan. Stasiun Lodoyo mewakili area seluas 20,40164 kilometer persegi, diikuti oleh stasiun Judeg dengan luas 26,92562 kilometer persegi, dan stasiun Bacem yang mencakup area terkecil yaitu 10,188372 kilometer persegi. Pembagian area ini sangat krusial karena menentukan bagaimana intensitas curah hujan dirata-ratakan di seluruh cekungan aliran sungai tersebut. Uji konsistensi yang dilakukan pada data hidrologi periode 2015 hingga 2024 mengonfirmasi bahwa catatan tersebut stabil dan sangat layak untuk digunakan dalam proyeksi jangka panjang. Konsistensi data memastikan bahwa tren yang teridentifikasi bukan merupakan hasil dari kesalahan pengukuran atau relokasi stasiun pemantau. Namun, luas area stasiun Bacem yang relatif kecil dibandingkan Judeg menunjukkan bahwa kejadian hujan lokal mungkin memiliki dampak yang lebih terkonsentrasi pada karakteristik *run-off* di sub daerah aliran sungai tersebut. Implikasinya adalah perencanaan infrastruktur harus mempertimbangkan variasi spasial ini untuk menghindari estimasi puncak *discharge* lokal yang terlalu rendah demi keamanan konstruksi serta keberlanjutan fungsi lingkungan sekitarnya (Hidayat et al., 2024; Indrawati et al., 2021; Wiwoho & Astuti, 2022).

Evaluasi statistik terhadap distribusi curah hujan selama periode observasi sepuluh tahun menunjukkan nilai rata-rata curah hujan sebesar 109,18 milimeter dengan deviasi kuadrat yang cukup tinggi mencapai 16165,79. Saat memproyeksikan kejadian ekstrem untuk periode ulang seribu tahun, metode Gumbel memberikan estimasi tertinggi sebesar 372,17 milimeter, sedangkan metode Log Pearson Tipe III menghasilkan angka 361,00 milimeter. Meskipun Log Pearson Tipe III awalnya tampak sebagai model terbaik berdasarkan parameter statistik, metode ini gagal dalam uji *chi-square* dengan nilai hitung 8,000 yang melampaui batas kritis sebesar 5,99. Kegagalan ini mengindikasikan adanya ketidaksesuaian antara distribusi teoritis dan frekuensi data observasi, yang menunjukkan bahwa pola hujan di wilayah Bogel mungkin dipengaruhi oleh faktor iklim kompleks yang tidak dapat ditangkap secara sempurna oleh distribusi standar. Implikasi dari ketidakcocokan statistik ini adalah meningkatnya risiko ketidakpastian dalam perencanaan desain bangunan air. Jika distribusi yang dipilih meremehkan curah hujan ekstrem yang sebenarnya, infrastruktur yang dihasilkan mungkin tidak memiliki kapasitas memadai untuk menangani banjir rekor, yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktur katastrofik saat terjadi badai besar yang melanda kawasan tersebut secara mendadak (Moccia et al., 2024; Sharma et al., 2021; Underwood et al., 2020; Zhang et al., 2022).

Analisis hidrograf satuan sintetik menunjukkan bahwa respons hidrologi di ketiga sub daerah aliran sungai mencapai puncaknya secara bersamaan pada jam kedua pengamatan. Sub daerah aliran sungai Bacem mencatatkan debit banjir rencana tertinggi untuk periode ulang seratus tahun sebesar 174,61 meter kubik per detik, sementara Lodoyo dan Judeg masing-masing mencapai 117,91 dan 116,21 meter kubik per detik. Waktu puncak yang sangat singkat, yakni hanya dua jam, menandakan karakteristik wilayah yang sangat responsif terhadap curah hujan intensitas tinggi, yang meningkatkan risiko terjadinya *flash flood* secara tiba-tiba. Pola aliran yang menurun secara bertahap hingga jam ke dua puluh empat menunjukkan bahwa volume air yang tertahan di wilayah tersebut tetap signifikan dalam waktu lama. Implikasinya adalah sistem drainase utama harus mampu mengalirkan debit puncak yang besar dalam waktu singkat untuk mencegah genangan instan di area pemukiman. Selain itu, perbedaan debit antara Bacem dan sub daerah lainnya menekankan perlunya prioritas pembangunan infrastruktur

pengendali banjir yang jauh lebih besar di wilayah hilir Bacem guna mengantisipasi luapan air yang lebih masif dibandingkan area sekitarnya yang lebih sempit (Fadhil et al., 2024; Imaaduddin et al., 2022; Setiawan et al., 2025; Wesli, 2021).

Simulasi area genangan banjir menggunakan bantuan *software* HEC-RAS memberikan gambaran kuantitatif yang jelas mengenai perluasan ancaman spasial pada berbagai periode ulang yang berbeda. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada banjir periode ulang dua tahun, luas genangan mencapai 4,98 kilometer persegi yang mencakup desa-desa seperti Bacem dan Sutojayan. Seiring meningkatnya keparahan menjadi banjir periode ulang seratus tahun, area dampak meluas secara signifikan menjadi 10,98 kilometer persegi, yang merupakan peningkatan luas wilayah terdampak hingga lebih dari seratus persen. Ekspansi genangan ini membawa desa-desa tambahan seperti Jegu dan Kembangarum ke dalam zona risiko tinggi yang berbahaya bagi keselamatan warga. Implikasi sosial-ekonominya sangat mendalam karena lebih banyak lahan pemukiman dan pertanian produktif yang terpapar pada level ketinggian air yang merusak. Transisi dari periode ulang rendah ke tinggi menunjukkan bahwa persyaratan perlindungan banjir berubah drastis seiring bertambahnya besaran kejadian hujan. Pemetaan ini berfungsi sebagai instrumen vital bagi otoritas manajemen bencana untuk menetapkan rute evakuasi dan pembatasan pembangunan berbasis zonasi. Tanpa perencanaan spasial efektif, wilayah tersebut akan terus menghadapi kerugian ekonomi berulang setiap kali mengalami hujan lebat (Farid et al., 2025; Giyarsih, 2023; Uca et al., 2022; Yosua et al., 2024).

Terlepas dari temuan yang mendetail, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang harus dipertimbangkan untuk strategi pengelolaan air di masa depan secara holistik. Ketergantungan pada penggunaan *software* HEC-RAS melibatkan asumsi tertentu mengenai aliran permanen dan tidak permanen yang mungkin belum sepenuhnya memperhitungkan interaksi kompleks transpor sedimen saat banjir melanda. Selain itu, analisis hidrologi ini didasarkan pada data curah hujan historis yang belum mencerminkan potensi dampak perubahan iklim masa depan atau perubahan penggunaan lahan yang sangat cepat. Studi ini juga mengidentifikasi bahwa dimensi saluran drainase yang ada saat ini kemungkinan besar tidak cukup kuat untuk mengelola puncak aliran sebesar 174,61 meter kubik per detik di wilayah Bacem. Oleh karena itu, rekomendasi utamanya adalah mengintegrasikan langkah-langkah struktural, seperti normalisasi sungai atau pembangunan kolam retensi, dengan strategi non-struktural berupa sistem peringatan dini yang andal. Penelitian selanjutnya harus menyertakan pemantauan waktu nyata dan pemodelan iklim dinamis untuk menyempurnakan proyeksi banjir ini. Mengatasi keterbatasan tersebut sangat penting untuk bertransformasi dari respons bencana yang reaktif menuju ketahanan banjir yang proaktif demi menjamin keselamatan jangka panjang masyarakat sekitarnya.

KESIMPULAN

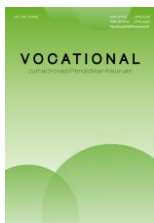
Berdasarkan analisis hidrologi DAS Bogel yang terbagi menjadi tiga SubDAS, yaitu SubDAS Bacem, Lodoyo, dan Judeg, dengan periode kala ulang Q2 hingga Q100, diperoleh bahwa debit banjir pada ketiga SubDAS meningkat seiring bertambahnya periode ulang, di mana SubDAS Bacem meningkat dari 69,28 m³/detik (Q2) menjadi 174,61 m³/detik (Q100), SubDAS Lodoyo dari 46,78 m³/detik (Q2) menjadi 117,91 m³/detik (Q100), dan SubDAS Judeg dari 46,11 m³/detik (Q2) menjadi 116,21 m³/detik (Q100). Hasil pemodelan genangan menggunakan HEC-RAS menunjukkan peningkatan luas genangan dari 4,98 km² pada Q2 menjadi 10,89 km² pada Q100, dengan desa terdampak pada Q2 meliputi Bacem, Jingglong, Kalipang, Kedungbunder, Pandanarum, Sutojayan, Sukorejo, dan Sumberjo, sedangkan pada

periode Q5 hingga Q100 wilayah terdampak meluas mencakup Bacem, Jegu, Jingglong, Kalipang, Kedungbunder, Kembangarum, Pandanarum, Sutojayan, Sukorejo, dan Sumberjo.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, F., Isfannir, I., Vikki, Z., Fadhilah, C., Mutasar, M., & Juanda, J. (2024). Sistem monitoring luapan air sungai berbasis IoT (Internet of Things) studi kasus Sungai Peudada Kabupaten Bireuen. *Djtechno Jurnal Teknologi Informasi*, 5(3), 637. <https://doi.org/10.46576/djtechno.v5i3.5103>
- Akbar, M., M, A., & Mahmuddin. (2025). Analisis limpasan permukaan pada bagian hulu Sungai Pappa. *Arus Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(2), 183. <https://doi.org/10.57250/ajst.v3i2.1350>
- Andiesse, V. W., Sutapa, I. W., & Tunas, I. G. (2025). Analisis debit air limpasan permukaan akibat perubahan tata guna lahan pada daerah aliran sungai bangga. *Rekonstruksi Tadulako Civil Engineering Journal on Research and Development*, 45. <https://doi.org/10.22487/renstra.v6i1.700>
- Fadhil, S. N., Rachmawati, F., & Rahman, M. A. (2024). Manajemen risiko banjir pada masyarakat rentan. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 22(2), 155. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v22i2.20038>
- Fajar, M. H. M., Rehananda, A., & Purnomo, S. E. (2024). Flood modeling for the Cisanggarung River in the Cilengkrang Village using the HEC-RAS software. *Journal Of World Science*, 3(12), 1648. <https://doi.org/10.58344/jws.v3i12.1252>
- Farid, M., Dewi, N. T., Adityawan, M. B., Nugroho, E. O., Alhamid, A. K., Wahid, A. N., & Sihombing, Y. I. (2025). Flood hazard assessment and economic loss estimation based on rainfall-runoff-inundation model under design discharge scenario. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5203997>
- Giyarsih, S. R. (2023). The impact of urban sprawl on the socioeconomic conditions of the population in Tamanan Village, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 55(1), 137. <https://doi.org/10.22146/ijg.74137>
- Harifa, A. C., & Cahyani, K. N. (2024). Pemodelan 1D dan 2D Sungai Tukad Penet bagian hilir. *Menara Jurnal Teknik Sipil*, 20(1), 30. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i1.50103>
- Hidayat, Y., Rachman, L. M., Wahjunie, E. D., Baskoro, D. P. T., Purwakusuma, W., Yusuf, S. M., & Araswati, F. D. (2024). Water balance prediction by simulating land use planning and water retention infrastructure in Upper Cisadane sub-watershed, West Java, Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 14(2), 415. <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.2.415>
- Imaaduddiin, H. M., Kuntjoro, K., Sa'ud, I., Harijanto, D., & Indriyani, D. (2022). Pemanfaatan kolam tampung sebagai upaya mitigasi banjir kawasan pada sub sistem Medokan Ayu Kota Surabaya. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 20(2), 243. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v20i2.12519>
- Indrawati, D., Ganguly, A. R., Taruc, K., & Yakti, B. P. (2021). Streamflow estimation using regionalized hydrometeorological assessment on associated ungauged small watershed: A case study at West Nusa Tenggara Province. *Advances in Engineering Research*. <https://doi.org/10.2991/aer.k.211106.018>
- Kindhi, B. A., Lasminto, U., Triana, M. I., Damarnegara, S., & Anavatti, S. G. (2023). Sensor and internet of things based integrated inundation mitigation for smart city.

- International Journal of Power Electronics and Drive Systems/International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(3), 2695. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i3.pp2695-2703>
- Moccia, B., Ridolfi, E., Mineo, C., Russo, F., & Napolitano, F. (2024). On the occurrence of extreme rainfall events across Italy: Should we update the probability of failure of existing hydraulic works? *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03852-6>
- Mustamin, M. R., Maricar, F., Lopa, R. T., & Karamma, R. (2024). Integration of UH SUH, HEC-RAS, and GIS in flood mitigation with flood forecasting and early warning system for Gilireng watershed, Indonesia. *Earth*, 5(3), 274. <https://doi.org/10.3390/earth5030015>
- Palawa'ae, E. R., Hadiani, R., & Muttaqien, A. Y. (2024). Strategi mitigasi banjir berdasarkan kapasitas saluran drainase di Kelurahan Jagalan. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 7(2), 94. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v7i2.85901>
- Priatna, A., Surya, B., & Syafri, S. (2025). Analisis dampak perubahan penggunaan lahan terhadap potensi banjir pada daerah aliran sungai tallo. *Urban and Regional Studies Journal*, 7(2), 113. <https://doi.org/10.35615/ursj.v7i2.6060>
- Ridwan, K. S., Sari, S. N., & Hermawan, A. (2025). Flood modeling of Telomoyo watershed in Kebumen using HEC-RAS for mapping flood risk zones. *Jurnal Teknologi Terapan G-Tech*, 9(2), 978. <https://doi.org/10.70609/gtech.v9i2.6801>
- Sa'adah, U., Rochayani, M. Y., & Astuti, A. B. (2025). Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. <https://doi.org/10.11591/ijeecs>
- Setiawan, I. A., Aziz, S. K., Imaaduddiin, M. H., & Utama, W. (2025). Penerapan multi boezem dalam upaya pengendalian banjir di kawasan industri JIPE Kabupaten Gresik. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 23(3), 243. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v23i3.22652>
- Sharma, S., Lee, B. S., Nicholas, R. E., & Keller, K. (2021). A safety factor approach to designing urban infrastructure for dynamic conditions. *arXiv*. <https://doi.org/10.1029/2021ef002118>
- Sholihah, L., & Irawanto, R. (2025). Identifikasi permasalahan dan pengelolaan Sungai Welang. *EnviroUS*, 5(2), 8. <https://doi.org/10.33005/enviroUS.v5i2.337>
- Uca, U., Lamada, M., Nyompa, S., & Haris, N. A. (2022). Morphometry and topographic wetness index analysis for flood inundation mapping in Mata Allo watershed (South Sulawesi, Indonesia). *Forum Geografic*, 2, 133. <https://doi.org/10.5775/fg.2022.105.d>
- Underwood, B. S., Mascaro, G., Chester, M., Fraser, A., López-Cantú, T., & Samaras, C. (2020). Past and present design practices and uncertainty in climate projections are challenges for designing infrastructure to future conditions. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000567](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000567)
- Wesli, W. (2021). Kajian spasial dan partisipasi masyarakat sebagai upaya pengendalian banjir di Kabupaten Aceh Utara. *Teras Jurnal Teknik Sipil*, 1(1). <https://doi.org/10.29103/tj.v1i1.58>
- Wiwoho, B. S., & Astuti, I. S. (2022). Runoff observation in a tropical Brantas watershed as observed from long-term globally available TerraClimate data 2001–2020. *Geoenvironmental Disasters*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-022-00214-5>



- Yosua, H., Kusuma, M. S. B., & Nugroho, J. (2024). An assessment of pluvial hazard in South Jakarta based on land-use/cover change from 2016 to 2022. *Frontiers in Built Environment*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1345894>
- Zhang, B., Wang, S., Moradkhani, H., Slater, L., & Liu, J. (2022). A vine copula-based ensemble projection of precipitation intensity–duration–frequency curves at sub-daily to multi-day time scales. *Water Resources Research*, 58(11). <https://doi.org/10.1029/2022wr032658>